



EESTI MAAÜLIKOOL

Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Aleks Mõttus

**MULLA SÜSINIKUVARU MUUTUSED SÕLTUVALT
KÜLVIKORRAST**

**CHANGES OF SOIL ORGANIC CARBON STOCK
DEPENDING CROP ROTATION**

Bakalaureusetöö

Põllumajandussaaduste tootmise ja turustamise õppekava

Juhendaja: Karin Kauer, PhD

Tartu 2018

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Aleks Mõttus		Õppekava: Põllumajandussaaduste tootmine ja turustamine	
Pealkiri: Mulla süsinikuvaru muutused sõltuvalt külvikorrast			
Lehekülgi: 41	Jooniseid: 1	Tabeleid: 5	Lisasid: 7
Õppetool: Mullateaduse õppetool			
Uurimisvaldkond: B410 Mullateadus, põllumajanduslik hüdroloogia			
Juhendaja(d): Karin Kauer, PhD			
Kaitsmiskoht ja aasta: Tartu, 2018			
<p>Mulla orgaanilise süsiniku uurimise vastu on järjest suurenev huvi. Mulla orgaaniline aine tõstab mulla viljakust ja parandab selle omadusi. Töö eesmärgiks oli hinnata, kuidas mõjutavad erinevad külvikorrad mulla süsinikuvaru, kui suur on süsiniku sidumise efektiivsus ja millised tegurid seda mõjutavad. Töö on tehtud metaanalüüsi meetodil teadusartiklite põhjal. Andmetest koostati tabelid ja kasutati ka determinatsioonkordajat kasutades regressioonanalüüsi, et hinnata süsinikusisendi ja süsinikuvaru aastase muutuse seose tugevust. Kõige vähem muutus süsinikuvaru aastas püsirohumaal, kus muutus oli kõigest -0,02 t/ha. Kõige rohkem suurenes süsinikuvaru muutus aastas Eestis läbiviidud katses, kus kasutati komposteeritud sõnnikut ja kasvatati vahekultuure, süsinikuvaru aastane muutus oli 2,58 t/ha. Üht kindlat külvikorda, mille rakendamine suurendaks süsinikuvaru kõikides oludes on töös kasutatud artiklitele tuginedes raske välja tuua. Mitmed külvikorrad suurendasid süsinikuvaru, kuid olid erinevad külvikorraga pikkuse, kasvatavata kultuuride poolest.</p>			
Märksõnad: süsinikusisend, mulla süsinikuvaru, külvikord, mulla orgaaniline süsinik, süsiniku sidumise efektiivsus			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Aleks Mõttus		Specialty: Production and marketing of agricultural products	
Title: Changes of soil organic carbon stock depending on crop rotation			
Pages: 41	Figures: 1	Tables: 5	Appendixes: 7
Chair:Chair of Soil Science Field of research: B410 Soil science, agricultural hydrology phytopathology Supervisors: Karin Kauer, PhD Place and date: Tartu, 2018			
There is increasing interest to study soil carbon stock. Soil organic matter improves soil fertility and enhances its properties. The aim of this study is to evaluate how different crop rotations affect soil carbon stock, how large is soil carbon sequestration efficiency and what factors affect this. The study is done by using meta-analysis based on scientific articles. Gathered information was used to form tables, to evaluate relationship between carbon input and carbon stock change the determination coefficient was used. The smallest change was in untilled grassland with carbon stock change of -0.02 t/ha y. The biggest carbon stock change (2.58 t/ha) was in an Estonian experiment where composted manure and cover crops were used. Based on these articles it is difficult to bring out one specific crop rotation, that would improve carbon stock in any conditions. Several crop rotations enhanced carbon stock but were different by crop rotation lenght and growing cultures.			
Keywords: Carbon input, soil carbon stock, crop rotations, soil organic carbon, carbon sequestration efficiency			

Sisukord

Sisukord.....	4
SISSEJUHATUS	5
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	6
1.1 Mulla süsinikuvaru	6
1.2 Mulla süsinikuvaru suurendamise võimalused	7
1.2.1 Harimisvõtted	7
1.2.1 Mulda mineva orgaanilise aine sisendi suurendamine	7
1.2.2 Külvikorrad.....	8
2. METOODIKA	9
3. TULEMUSED	10
3.1 Ülevaade uurimustöödest	10
3.2 Katsete kirjeldused	12
3.3 Ülevaade külvikordadest ja väetamisest	14
3.4 Süsinikulisendid erinevates katsetes	14
3.5 Süsinikuvaru muutused.....	18
3.6 Süsinikuvaru muutuste ja süsinikulisendi vaheline seos.....	19
4. ARUTELU	21
KOKKUVÕTE	24
SUMMARY	25
Kasutatud kirjandus	26
LISAD	33

SISSEJUHATUS

Mulla orgaanilise süsiniku (C) uurimise vastu on järjest suurenev huvi, nii globaalsel kui ka riiklikul tasemel üritatakse kaardistada mulla orgaanilise C varu (Grunwald, 2009). Mulla orgaaniline aine, mille koostises C on, on mulla kvaliteedi määraja (Larson & Pierce, 1994; Kang et al., 2005), sellel on tähtsad funktsioonid nii taimekasvatuse, kui ka keskkonna seisukohalt (Schmidt et al., 2011). Mulla orgaaniline aine tõstab mulla viljakust (Kaiser et al., 2008) ja parandab mulla füüsikalisi (Bronick & Lal, 2005), hüdroloogilisi (Franzluebbers, 2002; Smagin et al., 2004) ja bioloogilisi omadusi (Hargreaves et al., 2003). On teada, et loodusliku ökosüsteemi pealt üle minek mullaharimise peale, toob kaasa mulla orgaanilise aine sisalduse vähenemise, kuid see sõltub suuresti ka harimisvõtetest ja külvikorrast (Ogle et al., 2005; Bayer et al., 2006; Dolan et al., 2006). Harimisvõtted, mis on läbimõeldud, võivad suurendada mulla produktiivsust/viljakust ja samas suurendada ka mulla C varusid. Suurema mulla C varu korral väheneb ka CO₂ emissioon atmosfääri (Lal & Follett, 2009). Isegi väike muutus mulla C varus võib olla suure mõjuga atmosfääri CO₂ kontsentratsioonile (Muñoz-Rojas et al., 2013). Suurem C varu aitab mullas säilitada rohkem vett, mis omakorda annab suurema saagi põua perioodidel, vähendab mulla erosiooni, suurendab taimede toitainete omastamist ja suurendab bioloogilist mitmekesisust (Lotter et al., 2003). On teada mulla minimeeritud harimise positiivsest mõjust mulla C varule, kuid vähe on teada, kuidas erinevad külvikorrad mõju avaldavad. Kõik külvikorras kasvatatavad kultuurid võivad mõjutada erinevalt mulla orgaanilise aine kvaliteeti ja kontsentratsiooni, sest taimeliigiti erineb fütomassi tootmine, juurestik ja mikroobide mõju mulla orgaanilise aine akumulatsiooniks (Tivet et al., 2013). Üldiselt on teada, et mulla C sisaldus suureneb, kui suurendada mulda mineva C sisendi kogust (Lal, 2004; Shahzad et al., 2012).

Antud uurimustöö eesmärgiks oli selgitada välja mulda mineva C sisendi koguse ja mulla C varu muutuste vaheline seos sõltuvalt külvikordadest ning kui suur on C sidumise efektiivsus mulda ning efektiivsust mõjutavad tegurid.

Sooviksin tänada oma juhendajat, Karin Kauerit, kelle abi oli väga suureks toeks lõputöö koostamisel.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Mulla süsinikuvaru

Ülemaailmselt muldades olev C varu on umbes kaks korda suurem, kui C varu atmosfääris ja umbes kolm korda suurem biomassis olevast C varust (Smith et al., 2008). Suurem C varu on ainult litosfääris ja ookeanis, muldade ülemises ühe meetrilises kihis arvatakse olevat ligikaudu 1500 Gt C (Raheb et al., 2017). Mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) kontsentratsiooni mõjutavad peamiselt kolme tüüpi faktorid. Esiteks kliimast sõltuvad muutused nagu temperatuur ja sademed. Teiseks mulla seisund ja erinevad füüsikalise-keemilised omadused. Kolmandaks bioloogilised näitajad, mis peamiselt koosnevad C sisendi suurusest ja mulla kvaliteedist (Bradford et al., 2016; Luo et al., 2015). Mulla C_{org} moodustab mulla orgaanilisest ainest umbes 58% (Lal, 2004). Mulla orgaanilise aine vähenemine suurendab riski muldade degradatsiooniks, mis vähendab mulla tootlikust ja nõrgestab globaalse ökosüsteemi stabiilsust (Lal, 2007). Süsiniku sidumine mulda (*soil C sequestration*) on kompleksne protsess, mis on mõjutatud paljudest faktoritest nagu näiteks maakasutus ja argotehnilised võtted (külvikord, harimisviisid, väetamine) (Gregorich et al., 2005), mis määravad ära mulda mineva C sisendi koguse (Nardi et al., 2004). Harimata mullal looduslikes tingimustes on mulla C varu tasakaalus, sest mulda mineva C kogus on võrdne ära laguneva orgaanilise aine (mineraliseerunud C) kogusega (Lal, 2004). On leitud, et mulla C varu muutused on positiivselt seotud C sisendi kogusega (Rasmussen et al., 1980). C varu muutused sõltuvad orgaanilise aine lagunemiskiiruse ja C sisendi koguse vahelisest tasakaalust (Bolinder et al., 1999). Ära lagunenud mulla orgaanilise aine kogus peab olema väiksem kui C sisendi kogus, et mulla orgaanilist aine sisaldus suureneks (Paul, 2016). Mulla orgaanilise aine lagunemine sõltub oluliselt temperatuurist ja mulla niiskusest (Pietikäinen et al., 2005; Wang et al., 2016). Üldiselt kõrgemad temperatuurid ja suurem sademete kogus loob soodsamad tingimused orgaanilise aine lagundamisprotsessis osalevatele mikroorganismidele, mille tulemusena võib toimuda mulda mineva orgaanilise aine kiirem lagundamine ja C sidumist mulda toimub vähem, mille tulemusena C varu ei suurene (Kauer et al., 2012; Liang et al., 2016).

1.2 Mulla süsinikuvaru suurendamise võimalused

1.2.1 Harimisvõtted

Kuna põllumuldade C ringe on suure tähtsusega kliima suhtes, siis on hakatud otsima paremaid agrotehnilisi võtteid, mis vähendaks mulla C_{org} sisaldust ja suurendaks taimejääkide tagasiviimist mulda (Guo et al., 2007; Yan et al., 2011; Jiang et al., 2014). Üldiselt mulla harimisel mulla C_{org} kontsentratsioon väheneb (Dalal & Mayer, 1986; Saviozzi et al., 1994; Blair, 2000), sest kündmisega lõhutakse mulla agregaatide ja suureneb mulla õhustatus, paraneb niiskus- ja temperatuurirežiim, mis soodustab orgaanilise aine lagunemist (Balesdent et al., 1990), seetõttu tuleks rakendada vähendatud intensiivsusega harimisvõtteid, mis soodustavad mulla orgaanilise aine akumulereerumist (Bolliger et al., 2006). Näiteks võiks rakendada minimeeritud harimist (sh. otsekülvi), koristusjäägid tagastada mulda ja vältida musta kesa esinemist külvikorras (Follet, 2001; Hermle et al., 2008). Minimeeritud harimise positiivne mõju saagile avaldub tingimustes, kus võib esineda veedefitsiiti (Sainju et al., 2017). Põhja-Ameerikas tehtud mitmetes uuringutes on leitud, et üleminek tavaharimiselt otsekülvile suurendab mulla orgaanilise aine akumulereerumist (Kern & Johnson, 1993; Lal, 1997). Samas Schulz et al. (2014) leidis, et harimise intensiivsuse vähendamine ei pruugi alati positiivset mõju mulla C varule avaldada, sest oma katses ei leidnud ta selget mõju harimise intensiivsusel mulla C varule. Minimeeritud harimine (sh. otsekülv) suurendab mulla orgaanilist aine sisaldust (Sainju et al., 2017), kuid seda peamiselt ülemises kihis. Otsekülvil jäävad taimejäägid mulla pinnale ning nende mõju sügavamatesse mullakihtidesse on väiksem. Sügavamates kihtides on C sisendiks ainult taimejuured, mistõttu C varu seal oluliselt ei suurene.

1.2.1 Mulda mineva orgaanilise aine sisendi suurendamine

Põllumajanduslikus kasutuses oleva mulla C sisendid on peamiselt saagikoristusjäätmel ja juured (Francioso et al., 2000). Harimisviisid, mis mõjutavad produktiivsaaki (maapealset biomassi) ja mulda tagasi minevate taimejääkide kogust, mõjutavad suuresti ka mulla C_{org} sisaldust (Russell & Williams, 1982). Süsiniku väljundid on suuresti mõjutatud mikroobsest

mulla orgaanilise aine lagunemise kiirusest, mida mõjutavad ilmastikutingimused, maakasutus ja mulla harimisvõtted (Smith et al., 2012). Orgaanilise aine lagunemine sõltub lagundatava orgaanilise aine C/N suhtest (Mooshammer et al., 2014). Liiga lai C/N suhe võib kaasa tuua lämmastiku immobiliseerumise ja aeglasema orgaanilise aine lagunemise mullas, kuid liiga kitsas C/N suhe võib põhjustada mulla orgaanilise aine kiiremat lagunemist (Stevenson, 1994). Mulla mineraalsest koostisest sõltub see, kui palju C_{org} suudab mulda talletada, raskemate lõimistega muldadel on suurem saviosakeste hulk ning suurem eripind, mis võimaldab siduda suuremal hulgal C (Zhao et al., 2006). Sõnniku lisamine mulda mitte ainult ei anna mullale juurde C_{org} , vaid parandab ka mulla kvaliteeti soodustades mulla agregaatide stabiilsuse suurenemist, humiainete ja teiste mikroobsete kõrvalsaaduste siduvuse tõttu (Smith et al., 1997; Whalen & Chang, 2002). Mulla agregaatide stabiilsus aitab kaasa C akumulatsioonile, kuna orgaaniline aine on füüsiliselt kaitstud mikroobsete rünnakute eest mulla agregaatide sees (Campbell et al., 2001). Maapealset ja maa-alust biomassi saab suurendada väetamisega ja see omakorda suurendab mulda tagasi viidava orgaanilise aine kogust.

1.2.2 Külvikorrad

Külvikordade rakendamine on efektiivne võimalus kontrollida umbrohtude levikut, taimehaigusi ja kahjurite levikut (Tanaka et al., 2002) ja vähendada saagi ikaldumise riski (Sainju et al., 2017). Paljud autorid on leidnud, et külvikorras kasvatatavate taimede liigid ja nende järjestus mängivad suurt rolli mulla C säilitamises (Reeves 1997; Potter et al., 1998; Morari et al., 2006; Varvel, 2006). On leitud, et C sidumine oli suurem erinevate liikide rotatsioonis kasvatamisel, võrreldes sama liigi monokultuurina pideval kasvatamisel (Franzluebbbers et al., 1994, 1995). Kirjanduses leidub vastuolulisi allikaid mulla C varu säilitamiseks ja suurendamiseks külvikorra abil. Üldiselt ollakse arvamusel, et viljeledes monokultuuri (nt. nisu) kasvatamist, siis C varu võib väheneda (Franzluebbbers et al., 1994, 1995; Börjesson et al., 2018). Teisalt on leitud ka, et mulla orgaanilise aine sisaldus suurenes märgatavalt pärast 8 aastast monokultuuri kasvatamist (Sainju et al., 2017). Külvikordades, kus kasvatatakse kultuure, millel on võime siduda mulda lämmastiku, võivad suurendada külvikorras järgneva liigi fütomassi tootlikust ja selle tõttu suureneb ka mulla orgaanilise süsiniku sisaldus (Rosswall & Paustian 1984; Peoples & Baldock, 2001).

2. METOODIKA

Töö on koostatud metaanalüüsi meetodil. Metaanalüüs on tehtud teadusartiklite põhjal, mis on leitud andmebaasist WEB OF SCIENCE. Artiklite otsimisel kasutati otsingus erinevates kombinatsioonides märksõnu „*C-input*“, „*soil organic carbon*“, „*soil organic carbon stock*“, „*crop rotation*“, „*carbon stock*“. Nende märksõnade abil leitud artiklitest valiti välja sobilikumad selle põhjal, et kas seal olid olemas vajalikud andmed (nt. C sisendi kogus, mulla C varu muutus) töö koostamiseks. Kui C varu aastast muutust ei olnud esitatud, kuid oli esitatud C varu sisaldus nii uuritava perioodi alguses ja lõpus, siis C varu muutus leiti lahutades uuritava perioodi lõpu C varust algne C varu ja saadud number jagati perioodi pikkusega aastates.

Artiklitest koguti andmeid C sisendite ja mulla C varu kohta. Artiklitest leiti ka veel katsekohti iseloomustavaid andmeid: asukoht, mullaliik, mulla osakeste osakaal, lõimis, piirkonna keskmine õhutemperatuur, keskmine sademete hulk, rakendatud külvikorrad ning kasutatud orgaanilised väetised ja mineraalsed väetised.

Artiklitest leitud andmetest koostati viis tabelit. C sisendi koguse ja C varu aastase muutuse vahelise seose tugevuse hindamiseks leiti determinatsioonikordaja kasutades regressioonanalüüsi. Regressioonisirge tõusu järgi leiti C sidumise efektiivsus (*C sequestration efficiency*) (Zhang et al., 2010), et hinnata kui palju mulda minevast C seoti mulla orgaanilise aine koostisse.

3. TULEMUSED

3.1 Ülevaade uurimustöödest

1. Changes in soil carbon stock under the wheatbased cropping systems at Vojvodina province of Serbia

(Seremesic et al., 2017), edaspidi allikas I

Uurimustöö eesmärgiks oli hinnata muutusi mulla C varus seoses C sisenditega talinisule baseeruvates külvikordades ja püsirohumaal, variante oli kokku 10, lisaks nisule kasvatati veel külvikordades maisi, sojauba, suhkrupeedi ja otra. Katse toimus aastatel 1984-2009 Rimski Šanevi juurvilja ja teravilja katsekeskuses Serbias. Mullaproovid võeti kolme aastase proovi perioodi ajal pärast talinisu koristust erinevalt neljalt sügavuselt 0-20, 20-40, 40-60, 60-100 cm. Mulla C varu arvutamisel kasutati nelja proovi keskmist sisaldust. Süsinikusisend leiti talinisu biomassi ja keskmise terasaagi kaudu, kasutades koristusindeksit, mis varieerus 0,43-0,48 vahel sõltuvalt külvikorrast.

2. Testing the RothC and DNDC modelst against long-term dynamics of soil organic carbon stock observed at cropping field soils in North China

(Li et al., 2016), edaspidi Allikas II

Uurimistöö tehti Hiinas Zhengzhou linnas algusega 1990. aastal ja Changpingis 1991. aastal. Katses kasvatati ühe aasta jooksul kahte kultuuri talinisu ja suvimaissi nelja erineva väetamisviisiga: väetamata, NPK, NPK + maisipõhu tagastamisega ja NKP+sõnnik. C sisendi moodustasid taimejäätmek (juured ja tüü), sõnnik ja maisipõhk. C sisend juurtest hinnati maa-aluse – ja pealse biomassi suhte järgi arvestades, et juurtes paikneb kogu taimse biomassi C-st 30% talinisu puhul ja 26% maisi puhul. Tüüst pärinev C kogus hinnati tüü ja eemaldatud maa-pealse biomassi suhte järgi arvestades, et väetamata talinisu puhul paiknes tüüs 18,3% C-st, väetatud talinisu puhul 13,1% C-st ja maisi puhul 3% C-st.

3. Soil carbon dynamics estimation and dependence on farming system in a temperate climate

(Kauer et al., 2015), edaspidi Allikas III

Uurimustöö eesmärgiks oli uurida erinevate viljelusviiside (tava- ja maheviljelus) mõju mulla C varule. Tavaviljelussüsteemides oli 4 erinevat N väetusnormi, maheviljelussüsteemide variantides oli 2 varianti: vahekultuuridega ja vahekultuurid + sõnnik. Kõikides variantides kasutati sama külvikorda, milleks oli talinisu, hernes, kartul, oder ristiku allakülviga, punane ristik. Töö teine eesmärk oli hinnata erinevate viljelusviiside C sisendi kogust ja selle seost C varu muutustega. Süsinikusisendid arvutati produktiivsaagi järgi kasutades taimede Cjaotuskoefitsiente tuginedes Bolinder et al (2007) uurimustööle. Katse teostati Eestis, Tartu linnas, Eerikal aastatel 2008 kuni 2013.

4. Changes in soil carbon and crop yield over 60 years in the Zurich Organic Fertilization Experiment, following land-use change from grassland to cropland

(Oberholzer et al., 2014) edaspidi Allikas IV

Uurimustöö eesmärgiks oli hinnata C varu muutusi 60 aasta jooksul ja selgitada välja - muutusi mõjutavad peamised faktorid. Katse teostati Šveitsis aastatel 1949-2009. Katses oli 12 erinevat väetamissüsteemi, oli nii mahe-kui ka tavaviljelusvariante. Külvikord oli 8 aasta pikkune, kus kasvatati talinisu, maisi, kartulit, talinisu, mais, suvioder, otra ristiku allakülviga ja ristikut. Seitsme variandi puhul kasutati ainult orgaanilist väetist või orgaanilist väetist kombineeritud mineraalse väetisega. Kontrollvariandis ei kasutatud väetiseid. Nelja variandi puhul kasutati ainult mineraalseid väetiseid erinevates kogustes. Süsinikusisendid leiti produktiivsaagi järgi kasutades C süsinikujaotuskoefitsiente tuginedes Bolinder et al (2007) uurimustööle. Eeldati, et orgaanilise väetise ja taimede C sisaldus on 50%.

5. Organic C accumulation in soil over 30 years in semiarid southwestern Saskatchewan – Effect of crop rotations and fertilizers

(Campbell et al., 1999) edaspidi Allikas V

Uurimustöö eesmärgiks oli uurida erinevate väetusviiside, nisul baseeruva külvikorra ja viljelusintensiivsuse mõju mulla orgaanilisele C varule 30 aasta vältel. Katse toimus Kanadas, Põllumajanduse Uurimiskeskuses (*South Farm of the Semiarid Prairie Agricultural Research Centre of Agriculture*). Katses oli 12 erinevat varianti, millest seitse olid erineva külvikorraga ja kasutati ka erinevaid väetusviise, peamiselt kasutati lämmastiku

(N) ja fosforiga (P) väetamist koos, kuid esines ka kas ainult N või P väetamist. Külvikorrad olid erinevad. Näiteks kasvatati talinisu monokultuurina, kuid olid ka erinevaid külvikordi, kus kasvatati veel lina ja läätsesid, või oli maa jäetud sööti. Katse algas aastal 1966 ja lõppes 1996. Süsinikulisendid leiti arvestusega, et juurte/põhu suhe on 0,59 ja C sisaldus taimejäätmes 45%. Põhumass leiti kasutades terasaagi ja põhumassi vahelist regressiooni, mis olki erinevatel kultuuridel erinev..

3.2 Katsete kirjeldused

Antud töö tegemiseks uuritud artiklites olnud uurimisalade kliimast, asukohast ja muldadest annab ülevaate tabel 1.

Uurimisalad asusid järgmistes riikides: Eesti, Serbia, Kanada, Hiina, Šveits. Kõik need riigid asuvad parasvöötmes. Aasta keskmised õhutemperatuurid varieerusid vahemikus 5,78-14,8 °C, aasta keskmiste sademete hulk oli vahemikus 529,7-1040 mm. Katsealade mullaliikideks olid *Haplic Chernozem* (Allikas I), *Haplic Luvisol* ja *Calcaric Cambisol* (Allikas II), *Stagnic Luvisol* (Allikas III), *Luvisol* (Allikas IV) ja *Orthic Brown Chernozem* (Allikas V). Muldade lõimised olid peamiselt raske liivsavi, esines ka saviliiva ja liivsavi. Katsemuldade pH jäi vahemikku 5,9-8,2. Esines pika- ja lühiajalisi katseid, katsete pikkused varieerusid 5 aastast kuni 60 aastani (Tabel 2).

Tabel 1. Uurimisalade kirjeldused

Allikas	Riik	Mullaliik	Lõimis	Mulla osakeste osakaal, %			Aasta keskmine temperatuur, °C	Aasta keskmine sademete kogus, mm
I	Vojvodina, Serbia	<i>Haplic Chernozem</i> (FAO)	Raske liivsavi	50	65	35	11,3	617
II	Peking, Hiina	<i>Haplic Luvisol</i> ¹ (FAO)	- ²	-	-	14,7	13	529,7
II	Zhengzhou	<i>Calcaric Cambisol</i> ¹ (FAO)	-	-	-	14,7	14,8	645,6
III	Tartu, Eesti	<i>Stagnic Luvisol</i> (WRB)	Saviliiv	57	34	9	5,78	625,14
IV	Šveits	<i>Luvisol</i> (IUSS)	Saviliiv	57	27	14	9	1040
V	Saskatchewan, Kanada	<i>Ortic Brown Chernozem</i> (Canada Soil Survey Committee)	Raske liivsavi	40	40	30	1,70 ³	39,3

¹ Zhang et al. (2010)² ei ole esitatud³ McCaughey & Simons (1996)

Tabel 2. Katsete kirjeldused

Allikas	pH	N, mg/kg	Katse alguse aasta	Katse lõpu aasta	Uuringu kestus aastates	Mullakihi sügavus, mille kohta C varu esitati, cm
I	Kergelt leeliseline	-	1984	2009	25	20
II	8,2	0,65	1991	2006	15	30
	8,3	0,67	1991	2006	15	30
III	5,9	1,40	2008	2013	5	25
IV	6,5	-	1949	2009	60	20
V	6,5	1,78	1966	1996	30	15

3.3 Ülevaade külvikordadest ja väetamisest

Katsetes olevad külvikorrad olid erinevate pikkustega (Tabel 3). Kõige rohkem esines 2-aastaseid külvikordasid, kuid veel oli ka 3, 4, 5 ja 8-aastaseid külvikordasid. Ühes uurimustöös kasvatati nisu ka monokultuurina. Enamus külvikordadest baseerusid talinisul, rohkelt kasvatati ka maisi. Külvikordades esines veel oder, suhkrupeet, sojauba, ristik, ristik allakülvina, rukis, lina, lääts ja kartul. Orgaanilistest väetistest kasutati kõige enam sõnnikut, kuid kasutati veel ka komposti, turvast ja reoveeset. Sõnnikuga väetamisel oli norm 40-60 t/ha olenevalt katsest. Mõnes katses kasutati orgaanilise väetisega koos ka P ja K väetiseid. Fosforväetiste norm varieerus 141-295 kg/ha sõltuvalt orgaanilisest väetistest. Kaaliumväetisel oli normiks 10-57 kg/ha. Väetati ka mineraalse N-ga, mille norm jäi vahemiku 20-200 kg/ha. Kahe katse puhul ei olnud väetisenorme esitatud, kirjas oli, et väetamine toimus vastavalt kohalikele tavadele.

3.4 Süsinikusisendid erinevates katsetes

Kogu C sisend erinevates katsetes varieerus 0,50-7,05 t/ha vahel, kõige suurema kogu C sisendiga (C sisend taimejäätmest ja orgaanilisest väetisest) oli rohumaa variant (Allikas I) ja kõige väiksema kogu C sisendiga oli Allikas IV kontrollvariant (Tabel 4). Allikas V oli igal variandil kogu C sisend võrreldes teiste katsetega, väiksem jäädes vahemikku 1,32-1,91 t/ha. Allikas II kogu C sisendid varieerusid suurtes piirides (1,08-6,17 t/ha), väiksem tulemus saadi Changpingi kontrollvariandis ja suurem tulemus Zhengzhous tehtud katses, kus põhk tagastati ja väetati NPK-ga, külvikord oli mõlemal sama. Neljas katses kasutati ka orgaanilist väetist (Allikas I, Allikas II, Allikas III, Allikas IV), kus sõnnikust saadud C sisend oli erinevatel variantidel vahemikus 0,4-2,8 t/ha. Kõige väiksem C sisend sõnnikust oli Allikas III mahevariandis ja kõige suurem C sisend sõnnikust oli Allikas I kahes variandis, kus ühes variandis väetati ainult sõnnikuga ja teises sõnniku ja N-ga. Teistest orgaanilistest väetistest (reoveesete, kompost) saadud C sisend oli 1,25 t/ha sõltumata orgaanilise väetise päritolust ja omadustest.

Tabel 3. Katsete külvikordade ja väetamise andmed

Allikas	Variant	Külvikorr a pikkus aastates	Külvikord	Orgaaniline väetis	Orgaanilis e väetise norm, t/ha	Mineraalne N väetis, kg/ha	Mineraalne K väetis, kg/ha	Mineraalne P väetis, kg/ha
I	MW (CR)	2	Mais/talinisu	Ei antud	0	0	- ¹	-
	MSOW (CR)	3	Mais/sojauba/talinisu		0	0	-	-
	WW-N (CR)	1	Talinisu monokultuurina		0	100	Väetamine mullaanalüüside järgi	
	MW-N (CR)	2	Mais/talinisu		0	100		
	MSOW-N (CR)	3	Mais/sojauba/talinisu		0	100		
	SWMB-M (IOSDV)	4	Suhkrupeet/talinisu/mais/ oder	Sõnnik	40	0		
	SWMB-MN (IOSDV)	4		Sõnnik	40	100		
	SWMB-N (IOSDV)	4		Ei antud	0	200		
	SWMB-NR (IOSDV)	4		Taimejääkide tagastamine	0	200		
	CNTL – Rohumaa	-		Ei antud	0	0	0	0
II	Nil	2	Nisu/mais	Ei antud	0	0	0	0
	NPK	2			0	Väetamine vastavalt kohalikele tavadele		
	NPK-sõnnik	2		Sõnnik	-			
	NPK-kõrrega	2		Ei antud	0			
	Nil	2			0	0	0	0
	NPK	2		Sõnnik	0	Väetamine Vvastavalt kohalikele tavadele		
	NPK-sõnnik	2			-			
	NPK-kõrrega	2		Ei antud	0			

Tabel 3(jätk). Katsete külvikordade ja väetamise andmed

III	M0	5	Talinisu/hernes/kartul/oder-allakülv ristik(punane)/ punane ristik/	Ei antud	0	0	0	0
	M1	5		Sõnnik+põhk	40	0	0	0
	N0	5		Ei antud	0	0	95	25
	N1	5			0	20-50	95	25
	N2	5			0	20-100	95	25
	N3	5			0	20-150	95	25
IV	Kontroll	8	Talinisu, maisi, kartulit, talinisu, mais, suvioder, otra ristiku allakülviga ja ristikut	Ei antud	0	0	0	0
	N0P2K2	8			0	0	242,5	49,5
	N1P1K1	8			0	97,5	105,5	23,5
	N1P2K2	8			0	97,5	242,5	49,5
	N2P2K2MG	8			0	123,5	242,5	49,5
	Sõnnik	8		Sõnnik	2,5 t kuivainet /ha a	0	0	0
	Reoveesete	8		Reoveesete		0	0	0
	Kompost	8		Kompost		0	0	0
	Sõnnik+PK	8		Sõnnik		0	235	35
	Reoveesete+PK	8		Reoveesete		0	285	10
	Kompost+PK	8		Kompost		0	141	17
	Peet+PK	8		Turvas		0	295	57
V	F-W (N+P)	2	Kesa/nisu	Ei antud	0	11,4	9,6	-
	F-W-W(N+P)	3	Kesa/nisu/nisu		0	43,7	19,2	-
	Cont W (+P)	3	Nisu monokultuurina		0	8,16	9,6	-
	Cont W(N+P)	3	Nisu monokultuurina		0	11,4	9,6	-
	F-rye-W (N+P)	3	Kesa/rukis/nisu		0	34,7	18,7	-
	W-Lentil (N+p)	3	Nisu/lääts		0	46,4	18,4	-

¹ei ole esitatud

Tabel 4. Süsinikusisendid taimedest ja orgaanilisest väetistest

Allikas	Variant	C sisend taimedest, t/ha aastas	C sisend orgaanilisest väetisest, t/ha aastas	Kogu C sisend, t/ha aastas
I	MW (CR)	2,75	0	2,75
	MSOW (CR)	2,89	0	2,89
	WW-N (CR)	4,22	0	4,22
	MW-N (CR)	6,10	0	6,10
	MSOW-N (CR)	5,25	0	5,25
	SWMB-M (IOSDV)	4,26	2,80	4,26
	SWMB-MN (IOSDV)	4,98	2,80	4,98
	SWMB-N (IOSDV)	2,00	0	2,00
	SWMB-NR (IOSDV)	3,64	0	3,64
	CNTL – Rohumaa	7,05	0	7,05
II	Nil	1,08	0	1,08
	NPK	2,32	0	2,32
	NPK-sõnnik	1,94	2,04	3,98
	NPK-kõrrega	5,11	0	5,11
	Nil	1,75	0	1,75
	NPK	3,25	0	3,25
	NPK-sõnnik	3,99	1,28	5,27
	NPK-kõrrega	6,17	0	6,17
III	M0	3,23	0	4,41
	M1	3,70	0,50	4,76
	N0	3,35	0	3,23
	N1	3,30	0	3,70
	N2	3,10	0	3,35
	N3	2,94	0	3,30
IV	Kontroll	0,50	0	0,50
	N0P2K2	0,90	0	0,90
	N1P1K1	1,00	0	1,00
	N2P2K2	1,10	0	1,10
	N2P2K2MG	1,23	0	1,23
	Sõnnik	0,85	1,25	2,10
	Reoveesete	0,52	1,25	1,77
	Kompost	0,92	1,25	2,17
	Sõnnik+PK	1,11	1,25	2,36
	Reoveesete+PK	1,15	1,25	2,40
	Kompost+PK	1,11	1,25	2,36
	Peet+PK	0,89	1,25	2,14
V	F-W (N+P)	1,32	0	1,32
	F-W-W(N+P)	1,39	0	1,39
	Cont W (+P)	1,38	0	1,38
	Cont W(N+P)	1,91	0	1,91
	F-rye-W (N+P)	1,56	0	1,56
	W-Lentil (n+p)	1,83	0	1,83

3.5 Süsinikuvaru muutused

Enamikes rakendatud külvikordades jäi C varu aastane muutus negatiivseks, kuid oli ka positiivseid tulemusi. Süsinikuvaru muutus aasta kohta varieerus -0,40-2,58 t/ha aastas (Tabel 5). Kõige positiivsema tulemuse andis 5 aastase külvikorraga mahekatse, kus ei kasutatud mineraalväetiseid, väetati komposteeritud sõnnikuga ja kasvatati vahekultuure (Allikas III). Sõnnikut anti normiga 40 t/ha üks kord külvikorra jooksul. Kõige negatiivsema tulemuse andis sama katsetavaviljeluse üks variantidest. Kõige väiksem C varu aastane muutus (-0,02 t/ha) oli püsirohumaal (Allikas I).

Tabel 5. Erinevates katse mulla orgaanilise süsiniku (C_{org}) sisaldused, lasuvustihedused ja süsiniku (C) varu muutused

Allikas	Variant	Algne C_{org} , g/kg	Algne C varu, t/ha	Hilisem C_{org} , g/kg	Hilisem C varu, t/ha	Lasuvus-tihedus, g/cm ³	C varu muutus aastas, t/ha
I	MW (CR)	13,6	39,3	11,5	32,1	1,45	-0,29
	MSOW (CR)	15,2	43,7	13,5	39,2	1,43	-0,18
	WW-N (CR)	17,7	49,4	16,7	45,9	1,40	-0,14
	MW-N (CR)	16,3	46,0	15,0	42,6	1,41	-0,14
	MSOW-N (CR)	16,9	47,5	15,6	45,4	1,41	-0,08
	SWMB-M (IOSDV)	15,6	44,8	18,2	48,9	1,43	0,16
	SWMB-MN (IOSDV)	15,6	44,5	17,4	49,4	1,42	0,20
	SWMB-N (IOSDV)	15,6	44,5	16,6	46,9	1,42	0,10
	SWMB-NR (IOSDV)	15,6	44,4	16,2	48,4	1,42	0,16
	CNTL – Rohumaa	15,8	44,8	15,6	44,34	1,42	-0,02
II	Nil	6,7	21,2	- ¹	28	1,58	0,27
	NPK	6,7	21,2	-	27,5	1,58	0,25
	NPK-sõnnik	6,7	21,2	-	30,2	1,58	0,36
	NPK-kõrrega	6,7	21,2	-	30,5	1,58	0,37
	Nil	7,1	20,0	-	23,1	1,41	0,12
	NPK	7,1	20,0	-	25,5	1,41	0,22
	NPK-sõnnik	7,1	20,0	-	32	1,41	0,48
	NPK-kõrrega	7,1	20,0	-	28,7	1,41	0,35
III	M0	12,8	46,7	13,4	48,4	1,64	0,77
	M1	14,2	51,1	13,8	50,5	1,64	2,57
	N0	14,4	51,6	13,6	49,6	1,64	0,34
	N1	14,3	51,5	14,6	52,2	1,64	-0,12
	N2	14,7	52,7	16,1	56,5	1,64	-0,39
	N3	12,3	45,3	16,7	58,2	1,64	0,15

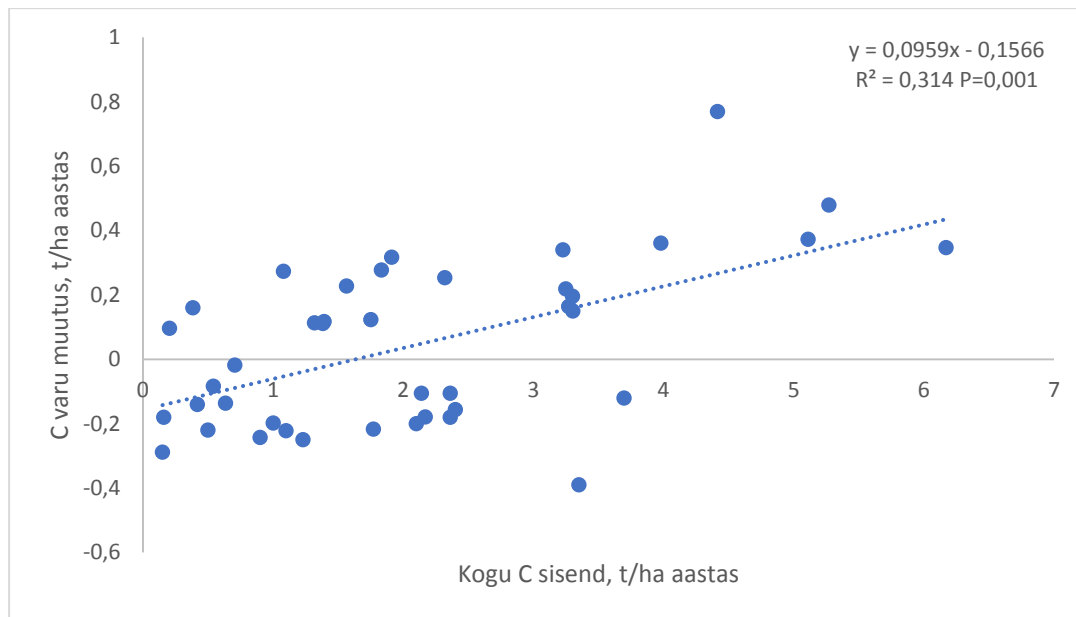
Tabel 5 (jätk). Erinevates katse mulla orgaanilise süsiniku (Corg) sisaldused, lasuvustihedused ja süsiniku (C) varu muutused

IV	Kontroll	13,0	39,0	-	25,8	-	-0,22
	N0P2K2	13,0	39,0	-	24,4	-	-0,24
	N1P1K1	13,0	39,0	-	27,1	-	-0,20
	N2P2K2	13,0	39,0	-	25,7	-	-0,22
	N2P2K2MG	13,0	39,0	-	24,0	-	-0,25
	Sõnnik	13,0	39,0	-	27,0	-	-0,20
	Reoveesete	13,0	39,0	-	26,0	-	-0,22
	Kompost	13,0	39,0	-	28,3	-	-0,18
	Sõnnik+PK	13,0	39,0	-	28,2	-	-0,18
	Reoveesete+PK	13,0	39,0	-	29,6	-	-0,16
	Kompost+PK	13,0	39,0	-	32,7	-	-0,10
	Peet+PK	13,0	39,0	-	32,7	-	-0,10
V	F-W (N+P)	17,80	30,5	-	33,9	1,22	0,11
	F-W-W(N+P)	17,80	30,5	-	34,0	1,22	0,12
	Cont W (+P)	17,80	30,5	-	33,8	1,22	0,11
	Cont W(N+P)	17,80	30,5	-	40,0	1,22	0,32
	F-rye-W (N+P)	17,80	30,5	-	37,3	1,22	0,23
	W-Lentil (N+p)	17,80	30,5	-	38,8	1,22	0,28

¹ei ole esitatud

3.6 Süsinikuvaru muutuste ja süsinikusisendi vaheline seos

Süsinikuvaru muutuste ja C sisendite vahel esines usutav positiivne seos (Joonis 1), mille põhjal saab väita, et mida suurem on C sisend seda suurem on ka C varu muutused. Joonisel 1 sirge tõus on 0,0959, mis tähendab, et tuginedes antud tööks olevatele katseandmetele, 9,59% kogu mulda minevast C-st seotakse mulla orgaanilise aine koosseisu.



Joonis 1. Süsinikusisendi (C sisend) ja süsinikuvaru (C varu) muutuse vaheline seos (N=42)

C sidumise efektiivsus varieerus erinevatel katsealadel 3-138% (LISAD 1-7). Kõige madalam oli Hiinas ühel alal ja kõige kõrgem oli Eestis läbi viidud katsel. Kõige suurem C sisend oli allikas I harimata rohumaal, milleks oli 7,05 t/ha, kuid C varu aastane muutus jäi -0,02 t/ha peale. Kõige suurema C varu aastase muutuse andis komposteeritud sõnnikuga väetamine (Allikas III), kus kogu aastane keskmine C sisend oli 4,76 t/ha ja aastane C varu muutus 2,57 t/ha. Allikas IV jäi C varu aastane muutus iga variandi puhul negatiivseks, olenemata C sisendi suurusest, mis varieerus vahemikus 0,50-2,40 t/ha vahel ja C varu aastane muutus jäi vahemiku -0,24 kuni -0,10 t/ha. Kanadas läbi viidud katses seoti mulda 36% mulda läinud C sisendist (LISA 7).

4. ARUTELU

Antud töös uuritud külvikorrad olid erineva pikkusega ja erinevate kultuuridega, kuid kõikides külvikordades oli üheks külvikorralülks nisu (tali- või suvinisu). Kahes uurimustöös kasvatati nisu monokultuurina ning selle mõju C varule oli erinev. Serbias toimunud katses (Allikas I) C varu vähenes 25 aasta jooksul $-0,14$ t/ha aastas, samal ajal Kanadas (Allikas V) toimunud katses C varu suurenes $0,11$ t/ha aastas, väetamine NP väetisega suurendas seal C varu veelgi ($0,32$ t/ha aastas). Võrreldes neid kahte tulemust avaldub seos C sisendi suuruse ja C varu muutuse vahel tugevalt, sest Kanada katses oli C sisend oluliselt suurem ($1,39$ t/ha aastas) võrreldes Serbia katse C sisendiga ($0,42$ t/ha aastas). Süsiniku sidumine mulda võib sõltuda algsest mulla C varust (Janzen et al., 1997) ning mida väiksem on algne C varu, seda rohkem on muld võimeline C mulda siduma. See sobib antud töös leitud tulemusega, sest Kanada katses oli C varu algselt madalam ($30,5$ t/ha 30 cm kihis) võrreldes Serbia katse algse C varuga ($49,4$ t/ha 20 cm kihis). Lisaks on leitud, et mulla lõimis mängib samuti olulist rolli C sidumisel mulda (Parton et al., 1987; Campbell et al., 1996) ning C sidumisvõime suureneb kui saviosakeste sisaldus mullas suureneb (Campbell et al., 1996). Mõlemad eelpool nimetatud katsemullad olid sarnase lõimisega (raske liivsavi), mistõttu lõimise mõju siin ilmselt puudub. Veel üks faktor, mis võis mõju avaldada nende kahe katse puhul, on erinev kliima, sest Serbia piirkond on oluliselt soojem (aasta keskmine temperatuur on $11,3^{\circ}\text{C}$) võrreldes Kanada katse piirkonna temperatuuriga ($1,7^{\circ}\text{C}$) (Tabel 1). Orgaanilise aine akumulatsioon vähenes mulla temperatuuri suurendes ja niiskuse vähenedes (Kutsch & Kappen, 1997). Kliima mõju avaldub ka Eestis toimunud katses, kus C sidumise efektiivsus oli väga kõrge ning Kanadas 36% (LISA 4 ja LISA 7). Mõlemate piirkondade aasta keskmised õhutemperatuurid on madalamad võrreldes teiste piirkondadega. Tuginedes Zhang et al. (2010) uurimustööle on C sidumise efektiivsus jahedamates piirkondades suurem võrreldes soojemate piirkondadega.

Külvikorras sõnniku lisamine mulda suurendas C sisendi suurust ja kuid mitte alati mulla C varu. Kõige suurem sõnniku mõju oli Eesti läbiviidud katses, kus aastane C varu muutus oli $2,57$ t/ha, ehkki C sisend sõnnikust oli võrreldes teistes katsetes olnud C sisenditega ($1,25$ - $2,80$ t/ha) sõnnikust kõige väiksem ($0,49$ t/ha). Ilmselt võib siin samuti olulist rolli mängida piirkonna ilmastikutingimused või avaldas siin mõju see, et Eesti katses kasutati komposteeritud sõnnikut, teistes katsete kirjeldustes oli kirjas vaid see, et kasutati sõnnikut,

mistõttu võib eeldada, et need ei olnud komposteeritud. Komposteeritud sõnnikus on kergesti lagunevaid ühendeid vähem, võrreldes värske sõnnikuga, seetõttu suur osa C-st on raskesti lagunevas vormis, mis panustab C stabiilsete fraktsioonide tekkele mullas (Kauer et al., 2015). Mulda minev stabiilne C suurendab ka C varu. Samas on oluline märkida, et Eestis läbiviidud katses olid kogu C sisendid kahes mahevariandis (M0 – vahekultuuridega; M1 – vahekultuuriga + sõnnik) sarnased, kuid C sidumise efektiivsused ehk mõju C varule erinesid oluliselt. Sel juhul avaldavad mõju mulda mineva C sisendi keemilised omadused (Singh et al., 2009). Vahekultuuridega variandis oli C sisendiks koristusjäätmek (ka põhk) ja juured, mis koosnevad erinevatest süsinikühenditest, mis lagunevad erineva kiirusega. Värsketes taimejääkides on kergemini lagunevate ühendite osakaal suurem, kui näiteks komposteeritud sõnnikus, mistõttu on komposteeritud sõnnikust pärit olev C oluliselt stabiilsem mullas, mis väljendub suurema C sidumise efektiivsuse kaudu.

Sõnnikust pärineva C efektiivsus oli väga madal Serbias läbi viidud katses, kus sõnnikuta variandis oli C sisend 0,21 t/ha aastas ja C varu muutus 0,10 t/ha aastas, kuid sõnnikuga variandis olid vastavad näitajad 3,30 ja 0,20 t/ha aastas. Mõlemat varianti väetati ka mineraalse lämmastikuga, mis võis soodustada orgaanilise aine ehk sõnniku lagunemist (Hobbie et al., 2012) vähendades mõju C varule. Teisalt võis põhjus peituda selles, et mustmulla võime suurendada mulla C varu on limiteeritud (Seremesic et al., 2017). On teada, et erinevatel muldadel on erinev C sidumisvõime, mis sõltub kliimaatilisest tingimustest ja mulla omadustest (lõimis, saviosakesed) (Freibauer et al., 2004). On leitud, et orgaanilise aine lagunemine aeglustub saviosakeste sisalduse suurenemisega mullal (Kong et al., 2009).

Šveitsis läbiviidud katses (Allikas IV) jäi olenemata C sisendi suurusest C varu aastane muutus iga külvikorra puhul negatiivseks. Tuginedes allika IV autori arvamusele võis negatiivne C bilanss mullas olla tingitud sellest, et katse rajati algselt madala kasutamisiintensiivsusega püsirohumaaale ning maakasutusmuutus rohumaa põlluks põhjustab C varu languse ja seda ei suudeta isegi muuta liblikõieliste kasvatamisega ja orgaanilise aine lisamisega (Oberholzer et al., 2014).

Kõige rohkem vähenes C varu Eestis läbiviidud katses (-0,39 t/ha aastas), samas katses ja ka sama külvikorraga, kus C varu suurenemine oli kõige ulatuslikum kui külvikorras lisati komposteeritud sõnnikut. C varu vähenemist põhjustas ilmselt mineraalse lämmastikuga väetamine (nii nagu Allikas I). Saadud tulemus osutab selgelt, et väetamine ja/või orgaanilise väetise lisamine mõjutab C varu erinevalt. Ning mineraalse lämmastiku positiivne mõju

produktiivsaagile (ja ka C sisendile) ei pruugi alati olla piisav, et tagada positiivne C bilanss mullas. Seetõttu on raske esile tuua ühte ja kindlat külvikorda, mis kõikides tingimustes C varu suurendaks. Suhteliselt stabiilse positiivse mõjuga C varule oli nisu-mais külvikord Hiinas läbiviidud katsetes, kus C varu suurenes kõikides variantides (kaasa arvatud kontrollvariandis, kuhu mineraalseid ja orgaanilisi väetisi ei antud ning ka põhk eemaldati põllult). Antud katsetel oli C sisendid uuritud katsetest suurimad, kuid C sidumise efektiivsused madalad (3-6 t/ha), mis võib taas tingitud olla kliimaatilisest iseärasusest (kõrge aasta keskmine temperatuur võrreldes teiste uuritud piirkondadega).

Süsiniku sidumise efektiivsus näitab, kui suur osa mulda lisatud C-st läheb üle mulla orgaanilise aine koosseisu, katseandmete põhjal leitud C sidumise efektiivsuseks oli keskmiselt 9,59%. Süsiniku sidumise efektiivsust mõjutavad nii temperatuur, kui ka sademed. Kuigi väga selget seost ei leitud C sidumise efektiivsuse ja saviosakeste osakaalu vahel, siis C sidumise efektiivsus on palju suurem mullas, kus on saviosakeste osakaal suurem. Süsiniku sidumise efektiivsus jäi mõlemas Hiina katsealadel väga madalaks - Zhengzhous oli see 3% peale ja Changpingis 6%. Samuti oli madal C sidumise efektiivsus ka Allikas I, kus mulda seoti vaid 8% mulda läinud C sisendist.

Allikas IV oli kasutusel lisaks sõnnikule ka teised orgaanilist väetist, milleks oli reoveesete ja kompost. Võrreldes reoveesetet ja komposti mõju kontrollvariandiga, siis orgaanilise väetise mõju C varule puudus, kuid kui reoveesettele või kompostile on lisatud ka PK väetist, siis see on väga väiksel määral mõjutanud C varu muutust aastas. Kuid mõlemal juhul jäi C varu muutus aastas siiski negatiivseks.

KOKKUVÕTE

Antud uurimustöö eesmärgiks oli selgitada välja mulda mineva C sisendi koguse ja mulla C varu muutuste vaheline seos sõltuvalt külvikordadest ning kui suur on C sidumise efektiivsus mulda ning efektiivsust mõjutavad tegurid.

Tuginedes antud töös kasutatud tulemustele, on keeruline välja tuua ühte konkreetset külvikorda, mille rakendamine suurendaks C varu kõikides tingimustes, sest töös olevatest külvikordadest suurendasid C varu mitmed külvikorrad, mis olid erinevad nii külvikorra pikkuse, kui ka külvikorras esinevate kultuuride poolest. Ühe ja sama külvikorra rakendamine, kuid argotehniliste võtete varieeruvusest tingituna, olid C varu muutused erinevad. Kõige positiivsema tulemuse C varu muutusele aastast andis komposteeritud sõnnikuga väetamine ja vahekultuuride kasvatamine rakendades 5 aastast külvikorda. Kasutatud andmetest oli kõige stabiilsem süsteem püsirohumaal, kus C varu 25 aasta jooksul ei muutunud.

Süsinikusisendi ja C varu aastase muutuse vahel esines positiivne seos, mis tähendab, et suurendades C sisendit, C varu suureneb. C sisendi koguse ja C varu muutuste vaheline seos ei sõltunud külvikorrast, vaid hoopis kliimaatilistest tingimustest. Katsete tulemustele tuginedes erines ka C sidumise efektiivsus erinevates piirkondades, varieerudes piirides 3-138% sõltuvalt kliimaatilistest tingimustest, väetamisest ja kasutatud orgaanilise väetise omadustest. Süsiniku sidumise efektiivsus oli üldiselt suurem jahedamates piirkondades (nt. Kanada ja Eesti) võrreldes soojemate ja niiskemate piirkondadega (Hiina, Serbia, Šveits) ning ka monokultuurina teravilja kasvatamine ei põhjustanud jahedamas piirkonnas C varu vähenemist. Kasutatud andmetele tuginedes oli keskmine C sidumise efektiivsus 9,59%.

SUMMARY

The aim of this study was to find the relationship between C input and soil C stock depending on crop rotations and C sequestration efficiency and factors that affect it.

Based on the results it is difficult to bring out one specific crop rotation, that would improve C stock in any conditions since in the current study many crop rotations enlarged C stock but crop rotations, length and species in crop rotation differed. Carbon stock changes were different in the same crop rotation but with different agrotechnical measures. Most positive C stock change in a year was achieved by using composted manure and cover crops in a 5 year crop rotation. Untilled grassland was the most stable crop rotation where C stock didn't change in 25 years.

Positive relationship between C input and C stock change was found so it means increasing C input will increase C stock as well. Relationship between C input and C stock change didn't depend on crop rotation but was influenced by climatic conditions. Based on the studies the C sequestration rate was 3-138% depending on climate of regions, fertilization and organic fertilizer quality. Carbon sequestration efficiency was higher in colder regions (Canada and Estonia) comparing to the warmer and more humid regions (China, Serbia, Switzerland), growing cereal in monoculture didn't show loss of C stock in colder regions. The average C sequestration rate efficiency was 9.59%.

Kasutatud kirjandus

- Balesdent, J., Mariotti, A., Boisgontier, D., 1990. Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from ^{13}C abundance in maize fields. *J. Soil Sci.* 41, 587–596.
- Bayer, C., Martin-Neto, L., Mielniczuk, J., Pavinato, A., Dieckow, J., 2006. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil Till. Res.* 86, 237–245.
- Blair, N., 2000. Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a chromic luvisol in Queensland, Australia. *Soil Till. Res.* 55, 183–191.
- Bolinder, M.A., Angers, D.A., Gregorich, E.G., Carter, M.R. 1999. The response of soil quality indicators to conservation management *Can. J. Soil Sci.* 79, 37–45.
- Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., VandenBygaart, A.J., 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agric. Ecosyst. Environ.* 118, 29–42.
- Bolliger, A., Magid, J., Amado, T.J.C., Skora Neto, F., Ribeiro, M.F.S., Calegari, A., Ralisch, R., Neergaard, A., 2006. Taking stock of the Brazilian Zero Till Revolution. *Adv. Agron.* 91, 47–110.
- Bradford, M. A., Wieder, W. R., Bonan, G. B., Fierer, N., Raymond, P. A., Crowther, T. W., 2016. Managing uncertainty in soil carbon feedbacks to climate change. *Nat. Clim. Change.* 6, 751–758.
- Bronick, C.J., Lal, R., 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124, 3–22.
- Börjesson, G., Bolinder, M.A., Kirchmann, H., Kätterer, T., 2018. Organic carbon stocks in topsoil and subsoil in long-term ley and cereal monoculture rotations. *Biol. Fert. Soils* 54, 549–558
- Campbell, C. A., McConkey, B. G., Zentner, R. P., Selles, F., Curtin D., 1996. Long-term effects of tillage and crop rotations on soil organic C and total N in a clay soil in southwestern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 76, 395–401.
- Campbell, C. A., Zentner, R. P., Liang, B.-C., Roloff, G., Gregorich, E. C., Blomert, B., 2000. Organic C accumulation in soil over 30 years in semiarid southwestern Saskatchewan – Effect of crop rotations and fertilizers. *Can. J. Soil Sci.* 80, 179–192.
- Campbell, C.A., Selles, F., Lafond, G.P., Biederbeck, V.O., Zentner, R.P., 2001. Tillage-fertilizer changes: effect on some soil quality attributes Under long-term crop rotations in a thin black chernozem. *Can. J. Soil Sci.* 81, 157–165.

- Dalal, R.C., Mayer, R.J., 1986. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland: III. Distribution and kinetics of soil organic carbon in particle size fractions. *Aust. J. Soil Res.* 24, 293–300.
- Dolan, M.S., Clapp, C.E., Allmaras, R.R., Baker, J.M., Molina, J.A.E., 2006. Soil organic carbon and nitrogen in a Minnesota soils as related to tillage, residue and nitrogen management. *Soil Till. Res.* 89, 221–231.
- Follet, R.F., 2001. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland. *Soil Till. Res.* 61, 77–92.
- Francioso, O., Ciavatta, C., Sanchez-Cortes, S., Tugnoli, V., Sitti, L., Gessa, C., 2000. Spectroscopic characterization of soil organic matter in long-term amendment trials. *Soil Sci.* 165, 495–504.
- Franzluebbers, A.J., 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Till. Res.* 66, 95–106.
- Franzluebbers, A.J., Hons, F.M., Zuberer, D.A., 1994. Long term changes in soil carbon and nitrogen pools in wheat management systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 1639–1645.
- Franzluebbers, A.J., Hons, F.M., Zuberer, D.A., 1995. Soil organic carbon, microbial biomass and mineralizable carbon and nitrogen in sorghum. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59, 460–466.
- Freibauer, A., Rounsevell, M. D. A., Smith, P., and Verhagen, J., 2004. Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe, *Geoderma*, 122, 1–23.
- Gregorich, E.G., Rochette, P., VandenBygaart, A.J., Angers, D.A., 2005. Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in Eastern Canada. *Soil Till. Res.*, 83, 53–72.
- Grunwald, S., 2009. Multi-criteria characterization of recent digital soil mapping and modeling approaches, *Geoderma* 152, 195–207
- Guo, L., Falloon, P., Coleman, K., Zhou, B., Li, Y., Lin, E., Zhang, F., 2007. Application of the RothC model to the results of long-term experiments on typical upland soils in northern China. *Soil Use Manag.* 23, 63–70.
- Hermle, S., Anken, T., Leifeld, J., Weiskopf, P., 2008. The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions. *Soil Till. Res.* 98, 94–105.
- Hobbie, S.E., Eddy, W.C., Buyarski, C.R., Adair, E.C., Ogdahl, M.L., Weisenhorn, P., 2012. Response of decomposing litter and its microbial community to multiple forms of nitrogen enrichment. *Ecol. Monogr.* 82, 389–405.

- Janzen, H. H., Campbell, C. A., Gregorich, E. G., Ellert, B. H., 1997. Soil carbon dynamics in Canadian agroecosystems. Pages 57–80 in R. Lal, J. Kimble, R. Follert, and E. A. Stewart, eds. Soil processes and the carbon cycle. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Jiang, G., Xu, M., He, X., Zhang, W., Huang, S., Yang, X., Liu, H., Peng, C., Shirato, Y., Iizumi, T., 2014. Soil organic carbon sequestration in upland soils of northern China under variable fertilizer management and climate change scenarios. *Glob. Biogeochem. Cycles* 28 (3), 319–333.
- Kaiser, M., Ellerbrock, R.H., Gerke, H.H., 2008. Cation exchange capacity and composition of soluble soil organic matter fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72, 1278–1285.
- Kang, G.S., Beri, V., Sidhu, V.S., Rupela, O.P., 2005. A new index to assess soil quality and sustainability of wheat-based cropping systems. *Biol. Fert. Soils* 41, 389–398.
- Kauer, K., Raave, H., Köster, T., Viiralt, R., Noormets, M., Keres, I., Laidna, T., Parol, A., Selge, A. 2012. The decomposition of turfgrass clippings is fast at high air humidity and moderate temperature. *Acta Agric. Scand. B – Plant Soil Sci.* 62, 224–234.
- Kauer, K., Tein, B., Sanchez de Cima, D., Talgre, L., Eremeev, V., Loit, E., Luik A., 2015. Soil carbon dynamics estimation and dependence on farming system in a temperate climate. *Soil Till. Res.* 154, 53–63
- Kern, J.S., Johnson, M.G., 1993. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57, 200–210.
- Kong, X., Dao, T. H., Qin, J., Qin, H., Li, C., Zhang, F., 1997. Effects of soil texture and land use interactions on organic carbon in soils in north China cities' urban fringe, *Geoderma*, 154, 86–92, 2009.
- Kutsch, W. L. and Kappen, L., 1997. Aspects of carbon and nitrogen cycling in soils of the bornhoved lake district.2. Modelling the influence of temperature increase on soil respiration and organic carbon content in arable soils under different managements. *Biogeochemistry*, 39, 207–224.
- Lal, R., 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. *Soil Till. Res.* 43, 81–107.
- Lal, R., 2004. Agricultural activities and the global carbon cycle. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 70, 103–116.
- Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304, 1623–1627.
- Lal, R., Follett, R. F., 2009. Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect. Effect (2nd Edition). Soil Science Society of America Special Publication Book Chapter. Madison, WI. 410p.
- Lal, R., 2007. Soil science and the carbon civilization. *Soil Sci Soc Am J.* 71, 1425–1437.

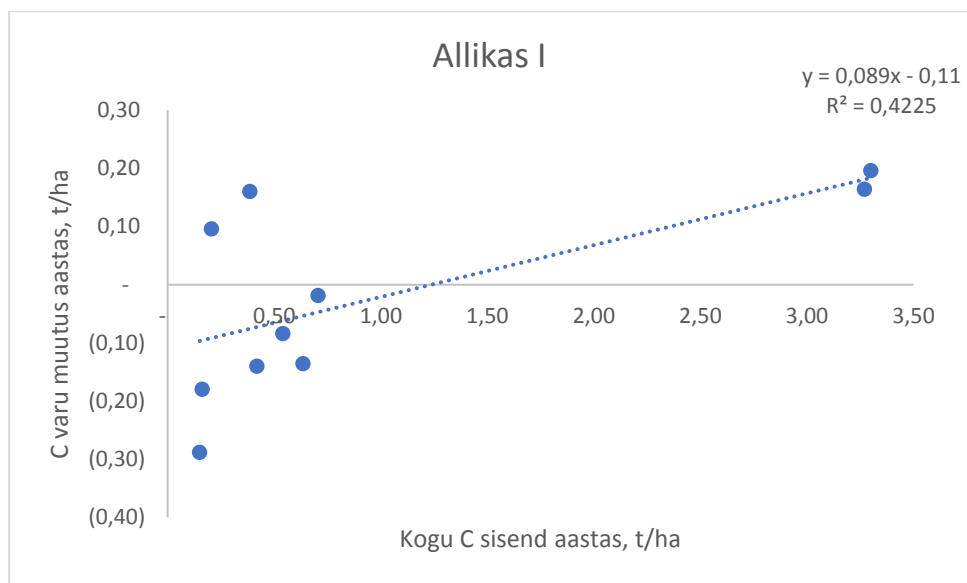
- Larson, W.E., Pierce, F.J., 1994. The dynamics of soil quality as a measure to sustainable management. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicsek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Special Publication No. 35, Madison, WI, USA, pp. 37–51.
- Li, S., Li, J., Li, C., Huang, S., Li, X., Li, S., Ma, Y., 2016. Testing the RothC and DNDC models against long-term dynamics of soil organic carbon stock observed at cropping field soils in North China, . *Soil Till. Res.* 163, 290–297
- Liang, F., Li, J., Yang, X., Huang, S., Cai, Z., Gao, H., Ma, J., Cui, X., Xu, M., 2016. Three-decade long fertilization-induced soil organic carbon sequestration depends on edaphic characteristics in six typical croplands. *Sci. Rep.* Aug 5;6:30350 DOI: 10.1038/srep30350.
- Lotter, D.W. 2003. Organic agriculture. *J Sustain. Agr.* 21(4).
- Luo, Y., Keenan, T. F., Smith, M., 2015. Predictability of the terrestrial carbon cycle. *Glob. Change Biol.* 21, 1737–1751.
- McCaughey, W. P., Simons R. G., 1996. Harvest management and N fertilization effects on yield and regrowth of smooth Uromexis, crested wheatgrass, and meadow bromegrass in the eastern prairies. *Can. J' Plant Sci.* 76: 773-782.
- Mooshammer, M., Wanek, W., Hämmerle, I., Fuchslueger, L., Hofhansl, F., Knoltsch, A., Schnecker, J., Takriti, M., Watzka, M., Wild, B., Keiblinger, K.M., Zechmeister- Boltenstern, S., Richter, A., 2014. Adjustment of microbial nitrogen use efficiency to carbon:nitrogen imbalances regulates soil nitrogen cycling. *Nat. Commun.* 5, 1–7. doi:<http://dx.doi.org/10.1038/ncomms4694> (n.3694).
- Morari, F., Lugato, E., Berti, A., Giardini, L., 2006. Long-term effects of recommended management practices on soil carbon changes and sequestration in North-eastern Italy. *Soil Use Manag.* 22, 71–81.
- Muñoz-Rojas, M., Jordán, A., Zavala, L. M., González-Peñaloza, F. A., De la Rosa, D., Pino-Mejías, R., Anaya-Romero M., 2013 Modelling soil organic carbon stocks in global change scenarios: a CarboSOIL application. *Biogeosciences* 10, 8253-8268.
- Nardi, S., Morari, F., Berti, A., Tosoni, M. Giardini, L., 2004. Soil organic matter properties after 40 years of different use of organic and mineral fertilisers. *Eur. J. Agron.* 21, 357–367.
- Oberholzer, H. R., Leifeld, J., Mayer, J., 2014. Changes in soil carbon and crop yield over 60 years in the Zurich Organic Fertilization Experiment, following land-use change from grassland to cropland. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 177, 696–704.
- Ogle, S.M., Breidt, F.J., Paustian, K., 2005. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochemistry* 72, 87–121.

- Parton, W. J., Schimel, D. S., Cole, C. V., Ojima, D. S., 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51, 1173–1179.
- Paul, E.A., 2016. The nature and dynamics of soil organic matter: Plant inputs, microbial transformations, and organic matter stabilization. *Soil Biol. Biochem.* 98, 109–126
- Peoples, M.B., Baldock, J.A., 2001. Nitrogen dynamics of pastures: nitrogen. Fixation inputs, the impact of legumes on soil nitrogen fertility, and the contributions of fixed nitrogen to Australian farming systems. *Aust. J. Exp. Agr.* 41, 327–346.
- Pietikäinen, J., Pettersson, M., Bååth, E. 2005. Comparison of temperature effects on soil respiration and bacterial and fungal growth rates. *FEMS Microbiol. Ecol.* 52, 49–58.
- Potter, K.N., Torbert, H.A., Jones, O.R., Matocha, J.E., Morrison Jr., J.E., Unger, P.W., 1998. Distribution and amount of soil organic C in long-term management systems in Texas. *Soil Tillage Res.* 14, 39–52.
- Raheb, A., Heidari, A., Mahmoodi, S., 2017. Organic and inorganic carbon storage in soils along an arid to dry sub-humid climosequence in northwest of Iran. *Catena* 153, 66–74
- Rasmussen, P. E., Allmaras, R. R., Rohde, C. R., Roager, N. C., Jr., 1980. Crop residue influences on soil carbon and nitrogen in a wheat-fallow system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 596–600.
- Reeves, D.W., 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Tillage Res.* 43 (1–2), 131–167.
- Rosswall, T., Paustian, K., 1984. Cycling of nitrogen in modern agricultural systems. *Plant Soil* 76: 3–21.
- Russell, J.S., Williams, C.H., 1982. Biogeochemical interactions of carbon, nitrogen, sulfur and phosphorus in Australian agroecosystems. Freney J.R., Galbally I.E. (Eds). *Cycling of carbon, nitrogen, sulfur and phosphorus in terrestrial and aquatic ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin, 61-
- Sainju, U.M., Lenssen, A.W., Allen, B.L., Stevens, W.B., Jabro, J.D., 2017. Soil total carbon and nitrogen and crop yields after eight years of tillage, crop rotation, and cultural practice. *Heliyon* 3 e00481. doi: 10.1016/j.heliyon.2017.e00481
- Saviozzi, A., Levi-Minzi, R., Riffaldi, R., 1994. The effect of forty years of continuous corn cropping on soil organic matter characteristics. *Plant Soil* 160, 139–145.
- Schmidt, M.W., Torn, M.S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I.A., Kleber, M., Kogel-Knabner, I., Lehmann, J., Manning, D.A., Nannipieri, P., Rasse, D. P., Weiner, S., Trumbore, S.E., 2011. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature* 478, 49–56.

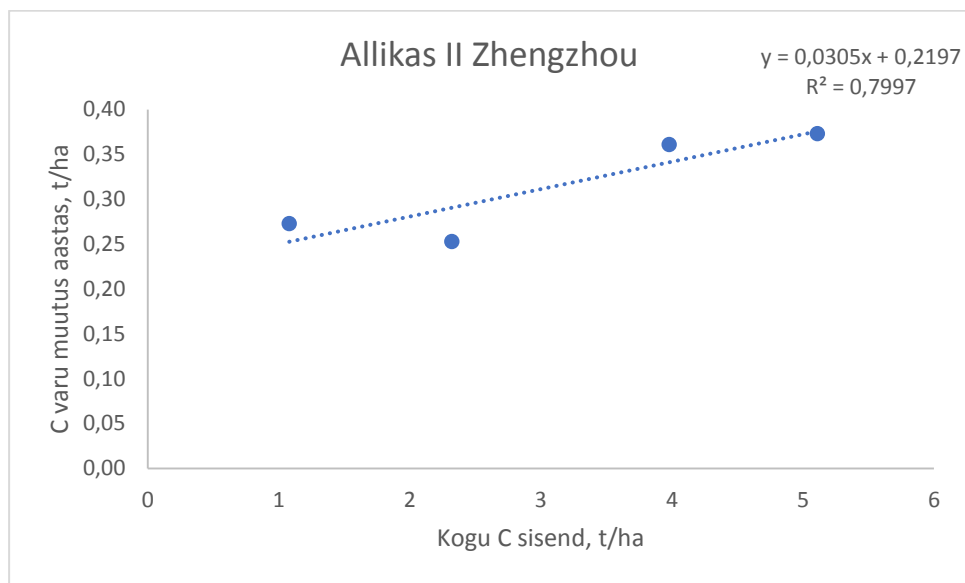
- Schulz, F., Brock, C., Schmidt, H., Franz, K.P., Leithold, G., 2014. Development of soil organic matter stocks under different farm types and tillage systems in the organic arable farming experiment Gladbacherhof. *Arch. Agron. Soil Sci.* 60, 313–326.
- Seremesic, S., Ćirić, V., Milošev, D., Vasin, J., Djaloic, I., 2017. Changes in soil carbon stock under the wheat-based cropping systems at Vojvodina province of Serbia, *Arch Agron Soil Sci*, 63, 388–402.
- Shahzad, T., Chenu, C., Repinçay C., Mougin, C., Ollier J., Fontaine, S., 2012. Plant clipping decelerates the mineralization of recalcitrant soil organic matter under multiple grassland species. *Soil Biol. Biochem.* 51, 73–80.
- Singh, K.P., Ghoshal, N., Singh, S., 2009. Soil carbon dioxide flux, carbon sequestration and crop productivity in a tropical dryland agroecosystem: influence of organic inputs of varying resource quality. *Appl. Soil Ecol.* 42, 243–253.
- Smagin, A., Sadovnikova, N., Nasrova, T., Kiryushova, A., Mashika, A., Eremina, A., 2004. The effect of organic matter on the water retention capacity of soils. *Eurasian Soil Sci.* 17, 267–275.
- Smith, P., Davies, C.A., Ogle, S., Zanchi, G., Bellarby, J., Bird, N., Boddey, R.M., McNamara, N.P., Powlson, D., Cowie, A., Van Noordwijk, M., Davis, S.C., Richter, D.B., Kryzanowski, L., Van Wijk, M.T., Stuart, J., Kirton, A., Eggar, D., Newton-Cross, G., Adhya, T.K., Braimoh, A., 2012. Towards an integrated global framework to assess the impacts of land use and management change on soil carbon: current capability and future vision. *Global Change Biol.* 18, 2089–2101.
- Smith, P., Fang, C., Dawson, J.J., Moncrieff, J.B., 2008. Impact of global warming on soil organic carbon. *Adv Agron.* 97, 1–43.
- Smith, P., Powlson, D., Glendining, M., Smith, J., 1997. Potential for carbon sequestration in European soils: preliminary estimates for five scenarios using results from long-term experiments. *Global Change Biol.* 3, 67–79.
- Stevenson, F.J., 1994. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*, 2nd ed. Wiley, New York.
- Zhang, W. J., Wang, X. J., Xu, M. G., Huang, S. M., Liu, H., Peng, C., 2010. Soil organic carbon dynamics under long-term fertilizations in arable land of northern China, *Biogeosciences*, 7, 409–425.
- Zhao, L., Sun, Y., Zhang, X., Yang, X., Drury, C.F. 2006. Soil organic carbon in clay and silt sized particles in Chinese mollisols: Relationship to the predicted capacity. *Geoderma* 132, 315–323.
- Tanaka, D.L., Krupinsky, J.M., Liebig, M.A., Merrill, S.D., Ries, R.E., Hendrickson, J.R., Johnson, H.A., Hanson J.D., 2002. Dynamic cropping systems: An adaptable approach to crop production in the northern Great Plains *Agron. J.*, 94, 957–961.

- Tivet, F., Sá, J.C.M., Lal, R., Borszorwskei, P.R., Briedis, C., Santos, J.B., Sá, M.F.M., Hartman, D.C., Eurich, G., Farias, A., Bouzinac, S., Séguy, L., 2013. Soil organic carbon fraction losses upon continuous plow-based tillage and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. *Geoderma* 209–210, 214–225.
- Wang, D., Nianpeng, H.E., Wang, Q., Lu, Y., Waang, Q., XU Zhiwei, Xu., Zhu, J., 2016. Effects of Temperature and Moisture on Soil Organic Matter Decomposition Along Elevation Gradients on the Changbai Mountains, Northeast China. *Pedosphere* 26(3), 399–407.
- Varvel, G.E., 2006. Soil organic carbon changes in diversified rotations of the Western Corn Belt. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 426–433.
- Whalen, J.K., Chang, C., 2002. Macroaggregate characteristics in cultivated soils after 25 annual manure applications. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 1637–1647.
- Yan, X., Cai, Z., Wang, S., Smith, P., 2011. Direct measurement of soil organic carbon content change in the croplands of China. *Glob. Change Biol.* 17, 1487–1496.

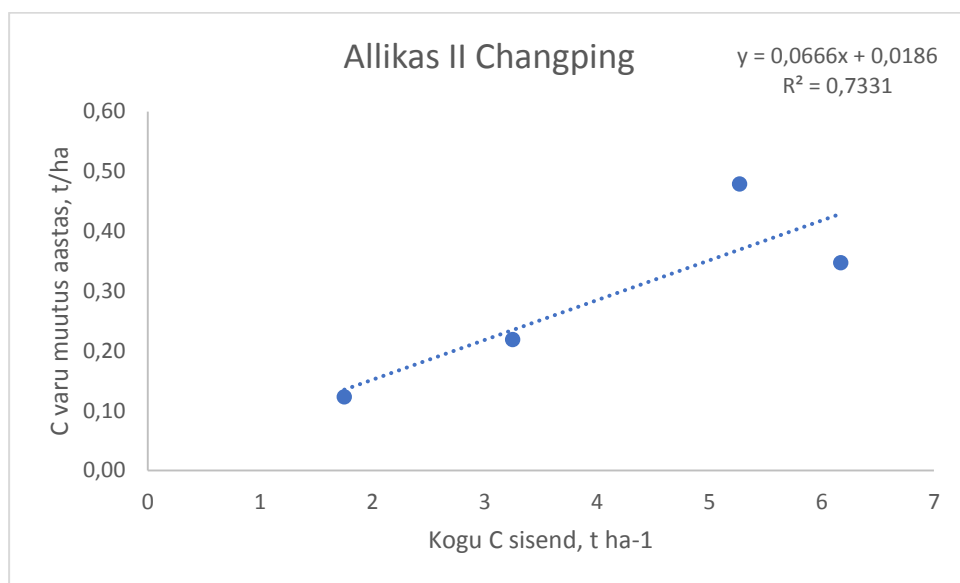
LISAD



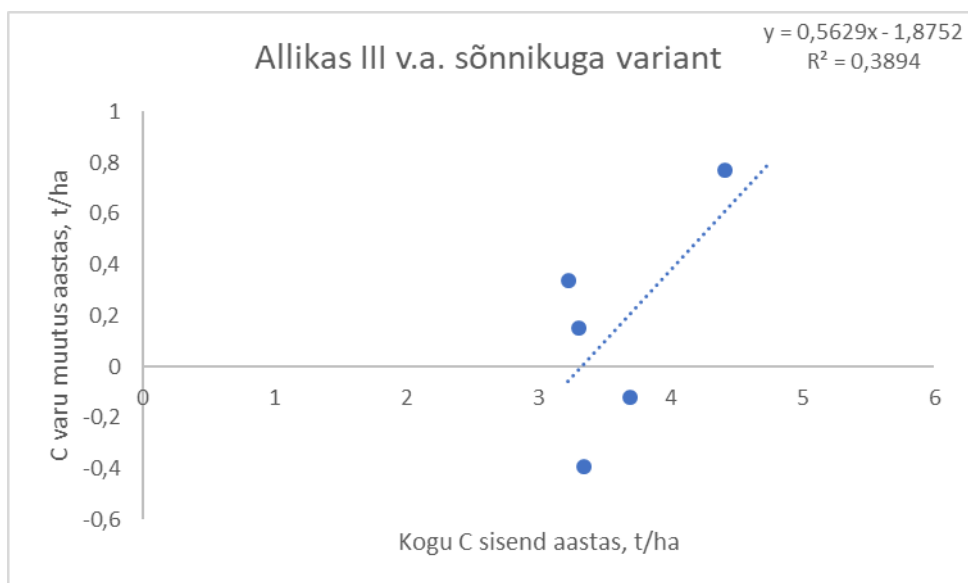
LISA 1. Seos C varu muutuste ja kogu C sisendi vahel (Allikas I)



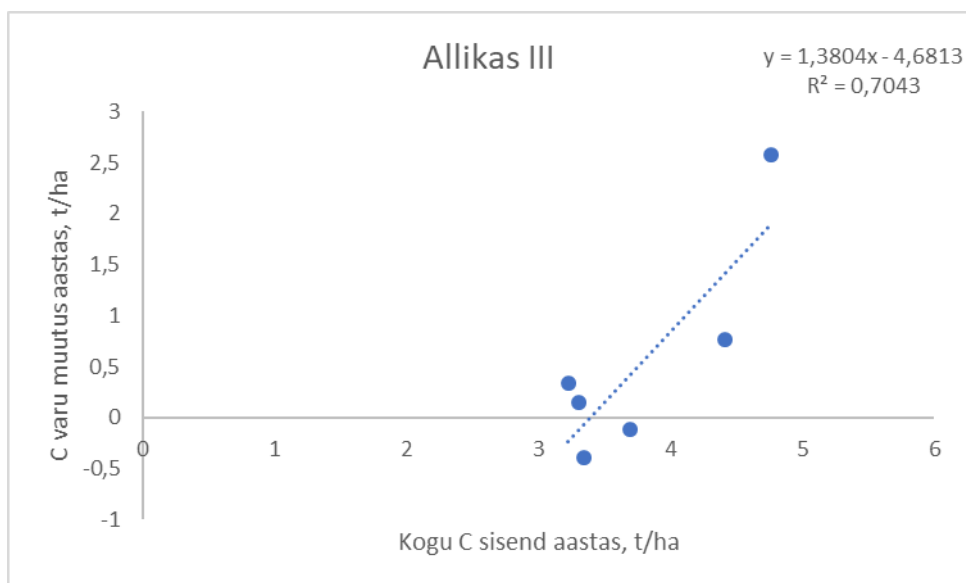
LISA 2. Seos C varu muutuste ja kogu C sisendi vahel (Allikas II, ala Zhengzhou)



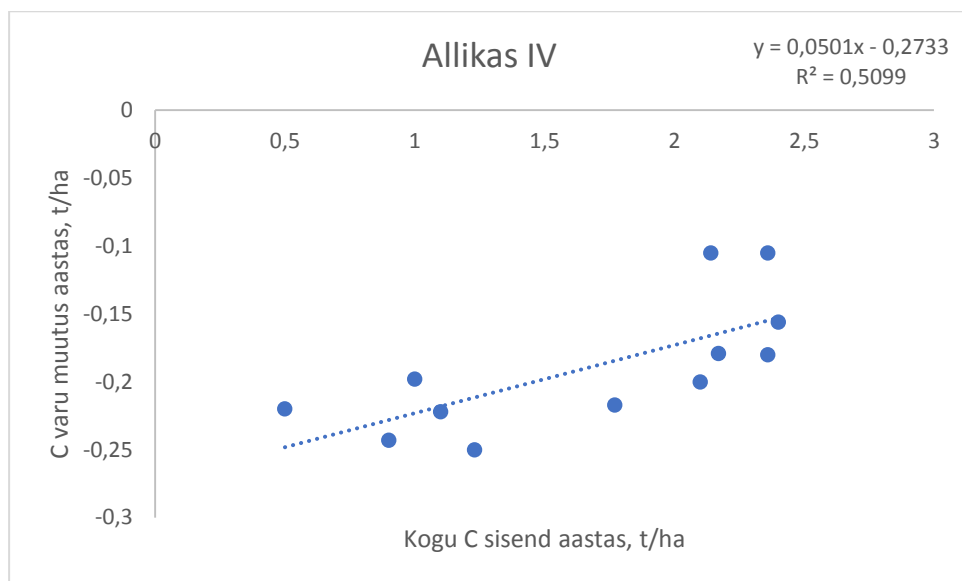
LISA 3. Seos C varu muutuste ja kogu C sisendi vahel (Allikas II, ala Changping)



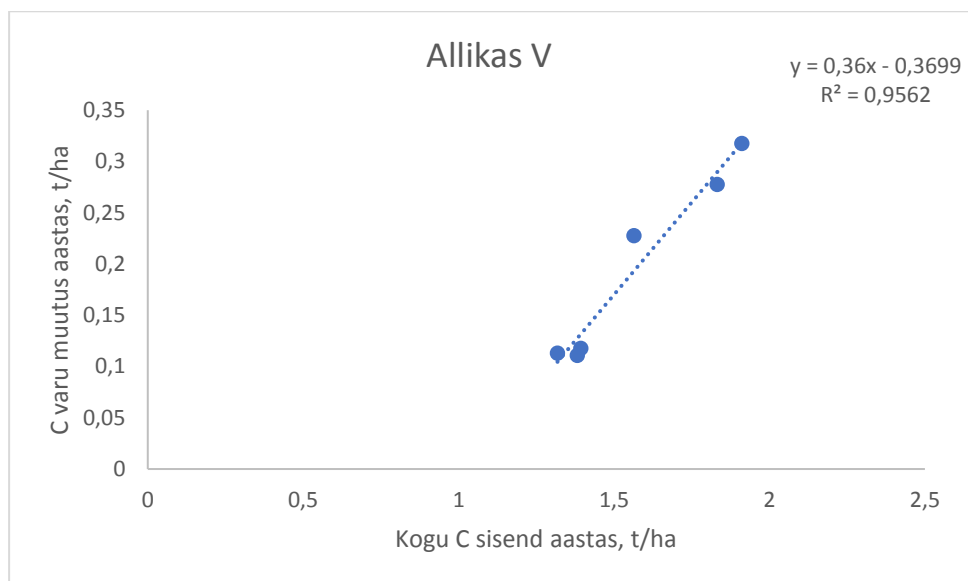
LISA 4. Seos C varu muutuste ja kogu C sisendi vahel (Allikas III, ilma sõnnikuta)



LISA 5. Seos C varu muutuste ja kogu C sisendi vahel (Allikas III, sõnnikuga)



LISA 6. Seos C varu muutuste ja kogu C sisendi vahel (Allikas IV)



LISA 7. Seos C varu muutuste ja kogu C sisendi vahel (Allikas V)

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Aleks Möttus,
(17.07.1996)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
Mulla süsinikuvaru muutused sõltuvalt külvikorrast,

mille juhendaja on Karin Kauer,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 23.05.2018

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)